

X線 CT 装置による土壌の体積含水率測定手法の検討

近畿大学 正会員 ○高野 保英
近畿大学 正会員 麓 隆行

1. はじめに

建設材料の内部構造や変形メカニズムの把握のための非破壊検査手法の一つとして、X線コンピュータトモグラフィ（以下、X線 CT と称す）がある。X線 CT は、X線が物質を透過する際にその透過率が物質の密度によって異なることを利用しており、試料に照射した X線吸収の割合から試料内部の三次元の画像を再構成し得る。すなわち X線 CT 装置は物質内部の密度の違いを検出するものであり、例えば水を含んだ試料の画像を撮影した場合には、水分量の違いにより X線の吸収の割合および像の輝度に違いが表れることを意味する。

土壌水分量の測定には近年、TDR 法が多く採用されているが、X線 CT 装置を用いれば、土壌の水分量の三次元分布を非破壊で得ることが可能であると推測される。このような点を踏まえて、筆者らは X線 CT 装置を用いて、試料の X線吸収の割合の指標の一つである CT 値の頻度分布から、土壌の体積含水率を推定する手法の開発を検討している。本報では、三種類の土壌を用いた X線 CT 装置による計測から得られた CT 値頻度分布の特性値と体積含水率の関係について考察する。

2. X線 CT 装置¹⁾および実験の概要

実験は近畿大学理工学部コンクリート実験室内の X線 CT 装置（写真-1 参照）を用いて実施した。本装置は、X線管とフラットパネルセンサを回転させ、その中央に設置した試料に X線を放射し、試料を透過した X線をボクセル毎にフラットパネルセンサで受信・解析することで、X線吸収の割合とその座標を求め、輝度に置き換え、三次元の透過画像を得る。

実験には、7つのリングに分解可能な内径 59mm のアクリル製円筒カラムを使用する。カラムは、上端および下端にある高さ 20mm のリングと、その間にある高さ 10mm のリング 5つで構成されている（したがってカラムの高さは 70mm となる）。カラムに任意の初期体積含水率に設定した豊浦珪砂、真砂土あるいは山形珪砂を詰め、一定期間乾燥させる。この試料を X線 CT 装置で撮影し、中間の 5つのリング内の土壌毎の CT 値の頻度分布を求める。撮影終了後、カラムを解体して各リング内の土壌の体積含水率を、炉乾燥により求める。

ここで CT 値とは、ボクセル毎の試料の X線吸収の割合を、水の場合を 0、空気の場合を -1000 として相対的に表した値である。また CT 値の頻度分布とは、解析範囲（各リング内の土壌）内の CT 値の頻度の分布を意味しており、頻度は解析範囲内の CT 値毎のボクセル数を、解析範囲内の全ボクセル数で除した値とする。なお本実験において 1 ボクセルの 1 辺の長さは、0.123051mm となる。CT 値の頻度分布を基に、上記のリング内の土壌の CT 値の平均値、平均値の頻度および分散とリング内の土壌の体積含水率の関係を探る。これらの関係から体積含水率の推定が可能かどうかを検討する。

3. 結果および考察

図-1 および図-2 に、三種類の土壌の体積含水率と CT 値の平均値の関係、および体積含水率と分散の関係をそれぞれ示す。図-1 より、体積含水率と平均値の関係は、真砂土、山形珪砂および豊浦珪砂ともに概ね線形であり、その傾きもほぼ同じである。一方図-2 より体積含水率と分散の関係は、豊浦珪砂（●）ではほぼ直線であるのに対して、山形珪砂（赤の◆）と真砂土（青の■）ではややばらつき



写真-1 X線 CT 装置の外観

キーワード X線 CT, 体積含水率, CT 値

連絡先 〒577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1 近畿大学理工学部社会環境工学科 TEL 06-6721-2332

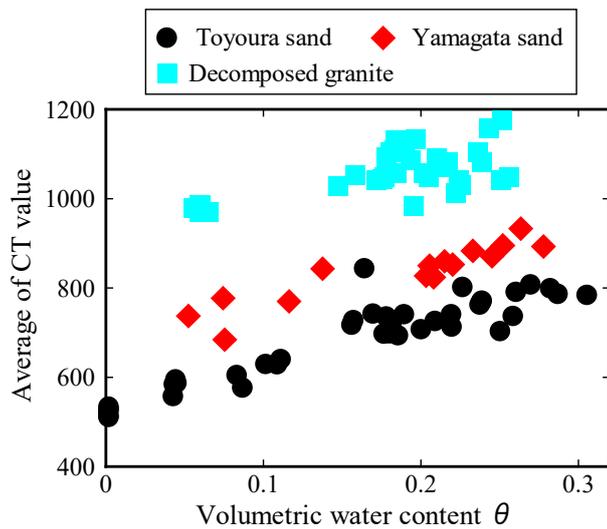


図-1 体積含水率と CT 値の平均値の関係

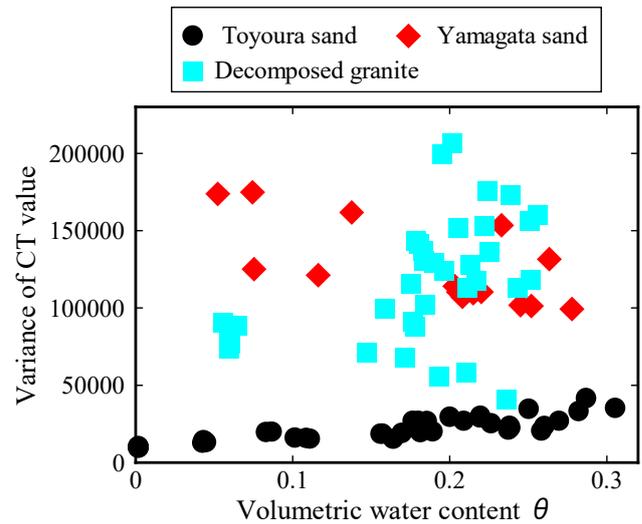


図-2 体積含水率と CT 値の分散の関係

が観られる。なお、紙数の関係上ここでは示さないが、体積含水率と平均値の頻度の関係でもまた、図-2 と同様の傾向が生じた。この違いは、各土壌の CT 値の頻度分布の違いによるものと考えられる。

図-3 に、真砂土、山形珪砂および豊浦珪砂の CT 値の頻度分布の例を示す。これらはいずれも、体積含水率が 0.21～0.22 程度の土壌の結果である。黒に実線で示す豊浦珪砂の頻度分布はほぼ左右対象になっているのに対し、赤および青の実線で示す山形珪砂および真砂土の頻度分布は、分布の広がりが大きくなり、その形状も左右対象にならない。この形状に違いの原因としては、以下のことが考えられる。

豊浦珪砂は粒子および空隙の大きさが概ね均一であるのに対し、真砂土と山形珪砂の粒径にはばらつきがあり、

空隙の大きさにも同様にばらつきが生じる。従って山形珪砂や真砂土の場合、豊浦珪砂に比べて、1つのボクセル内に、粒子のみ、空隙のみあるいは水のみが存在する確率が高くなる。1つのボクセル内に CT 値が小さい水あるいは空気のみが存在する場合は、砂、空気、水が混在する場合に比べて CT 値が低くなるため、空隙の大きい土壌では CT 値の頻度分布は低 CT 値の領域が大きくなる。逆に砂のみのボクセルの場合は、全体的に CT 値が大きくなる。同じ土壌でかつ同じ体積含水率の場合でも、詰まり方が異なると、上記のような効果により CT 値の分散や頻度が大きく異なる可能性がある。従って粒子の大きさにばらつきがある土壌水分量の推定に、CT 値の分散や平均値の頻度を利用する場合には、新たな推定方法を検討する必要があると思われる。

4. おわりに

X線 CT 装置を用いた土壌の体積含水率の推定手法開発の試みとして、三種類の土壌を用いた X線 CT 装置による計測から得られた CT 値頻度分布の特性値と体積含水率の関係について検討した。

その結果、体積含水率と CT 値の平均値の関係については、豊浦珪砂、真砂土および山形珪砂のいずれにおいても比較的良好な線形関係が観られたが、体積含水率と CT 値の分散の関係については、真砂土と山形珪砂では、ばらつきが大きく、良好な関係は確認できなかった。

参考文献

1) 麓隆行：新しい機構の X 線 CT の開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用，土木学会論文集 E2，Vol. 69，No. 2，pp. 182-191，2013。

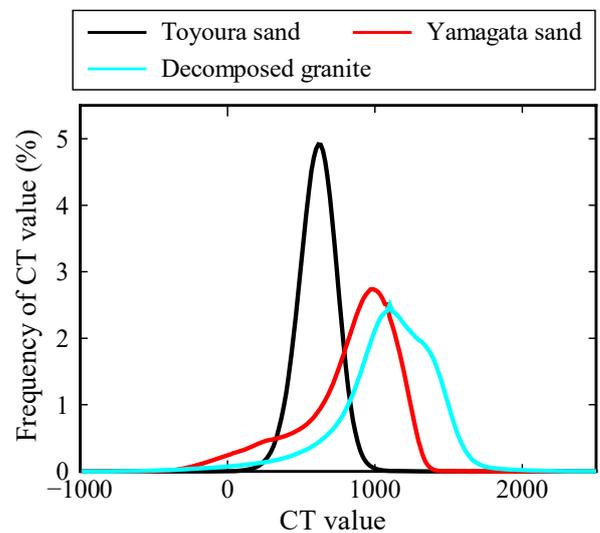


図-3 CT 値の頻度分布の例